

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"

РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ СОНЯЧНОГО ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Методичні рекомендації
до виконання домашньої контрольної роботи
для студентів напряму підготовки «Теплоенергетика»
заочної форми навчання

Київ
НТУУ «КПІ»
2015

Розрахунок основних елементів системи сонячного гарячого водопостачання [Текст]: метод. рек. до викон. домашньої контрольної роботи для студ. напряму підготовки «Теплоенергетика» /Уклад: В.В.Дубровська, В.І Шкляр, Т.Н. Ковтанюк – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 28 с.

Рекомендовано вченою радою
Інституту енергозбереження та енергоменеджменту,
НТУУ „КПІ”
(Протокол № 6 від 26 січня 2015 р.)

Навчальне електронне видання

Розрахунок основних елементів системи сонячного гарячого водопостачання

Методичні рекомендації
до виконання домашньої контрольної роботи
для студентів напряму підготовки «Теплоенергетика»
заочної форми навчання

Укладачі: В.В. Дубровська, канд. техн. наук, доц.,
В.І. Шкляр, канд. техн. наук, доц.,
Т.М. Ковтанюк, асистент

Відповідальний
редактор В.В. Задвернюк, ст. викладач

Рецензент А.М. Ковальчук, канд. техн. наук, доц.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 Мета домашньої контрольної роботи.....	5
2 Завдання на домашню контрольну роботу.....	5
3 Порядок виконання та оформлення завдання.....	5
4 Методичні вказівки до виконання роботи.....	6
4.1 Використання сонячної енергії.....	6
4.2 Системи активного сонячного теплопостачання.....	7
4.3 Системи сонячного гарячого водопостачання	10
4.4 ККД сонячного колектора.....	11
4.5 Ступінь заміщення палива.....	14
4.6 Розрахунок систем сонячного теплопостачання.....	17
4.7 Розрахунок економічної доцільності використання систем сонячного гарячого водопостачання.....	20
5 Послідовність виконання розрахунків.....	22
Список рекомендованої літератури.....	25
ДОДАТКИ.....	26

Вступ

З кожним роком загострюються питання пов'язані з подальшими шляхами розвитку енергетики. З однієї сторони, зростання населення, прагнення до підвищення життєвого рівня людей диктують доцільність нарощування потужностей енергетики, і в першу чергу електроенергетики, причому просто гігантськими темпами; з іншої сторони, виникнення екологічних проблем та вичерпання природних джерел сировини (особливо нафти і газу), потребує більш економічного і раціонального використання отриманої енергії і потенційної енергії її джерел.

В багатьох промислово розвинених країнах, де резерви власного органічного палива сильно вичерпані або їх немає, і енергетика яких базується, сьогодні, на імпорتنих поставках, питання використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії стають все більш актуальними, активно ведуться роботи по їх застосуванню в енергетиці.

Енергія Сонця використовується для нагрівання води, повітря, в дистилляторах, зерносушарках, або для обігріву чи охолодження приміщень. Нагрівання води в сонячних нагрівальних системах здійснюється приймачем, в якому відбувається поглинання сонячного випромінювання і передача енергії рідині.

В Україні зараз розвиваються два напрямки використання сонячної енергії, які пов'язані з отриманням теплоти для гарячого водопостачання (ГВП) та опалення. Загальна кількість подібних установок досягає 5 млн., причому більше половини з них установки малої продуктивності (менше 500 літрів на день) для індивідуальних споживачів [1-2].

Важливим показником при визначенні ефективності роботи сонячного колектора є розрахунок частки навантаження гарячого водопостачання, яке забезпечується за рахунок сонячної енергії (коефіцієнта заміщення палива) [3-4].

Методичні рекомендації до виконання домашньої контрольної роботи з дисципліни «Енергетичні системи та комплекси 3. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії» призначені для студентів заочної форми навчання напряму підготовки «Теплоенергетика».

1 МЕТА ДОМАШНЬОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Метою роботи є визначення площі поверхні сонячного колектора (СК), об'єму бака-акумулятора, річної економії традиційного палива та строку окупності при використанні сонячної енергії в системі гарячого водопостачання (ГВП) об'єкту.

2 ЗАВДАННЯ НА ДОМАШНЮ КОНТРОЛЬНУ РОБОТУ

В домашній контрольній роботі пропонується провести розрахунок сонячної водонагрівальної установки в заданому місті при добовому споживанні гарячої води V , [л/день] на одну особу, якщо кількість людей p . Температура гарячої води $t_{ГВ}$ [$^{\circ}\text{C}$], а холодної $t_{ХВ}$ [$^{\circ}\text{C}$]. Частка сонячної енергії в покритті теплового навантаження f . Нижча теплота згорання палива Q_H^P [кДж/кг], к.к.д. теплогенератора $\eta_{ТГ}$.

Знайти площу A [м^2] поверхні СК, об'єм $V_{БА}$ [м^3] бака-акумулятора аналітично і за номограмою, враховуючи кут нахилу β СК до горизонту, річну економію палива B та строк окупності $\tau_{ОК}$ геліосистеми.

Вихідні дані для розрахунку наведено в табл. Д1.

3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗАВДАННЯ

Домашня контрольна робота складається з наступних розділів:

1. Розрахунок площі поверхні СК та об'єму бака-акумулятора аналітичним методом.
2. Визначення площі поверхні СК та об'єму бака-акумулятора за номограмою фірми SintSolar [3].
3. Розрахунок річної економії традиційного палива.

4. Розрахунок строку окупності геліосистеми.
5. Висновки по роботі.

Пояснювальна записка до домашньої контрольної роботи повинна бути виконана на аркушах А4 і супроводжуватись відповідними рисунками та поясненнями до них.

4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1 Використання сонячної енергії

В сонячній енергетиці технологічно існують два основних напрямки використання сонячної енергії:

- *Перетворення сонячної енергії в електричну енергію;*
- *Сонячне теплопостачання.*

Найбільш освоєним у світі є використання сонячної енергії для *сонячного теплопостачання*. Застосування сучасних технологій і оснащення дозволяє говорити про створення нової галузі енергетики.

Перетворення в теплову енергію здійснюється за допомогою:

- 1) плоских сонячних колекторів.
- 2) концентраторів.

Системи сонячного теплопостачання (ССТ) можна класифікувати наступним чином:

- **системи активного сонячного теплопостачання (САСТ)**, в яких використовуються так звані активні установки на основі сонячних колекторів з циркуляцією теплоносія;
- **системи пасивного сонячного теплопостачання (СПСТ)**, в яких різні конструкційні елементи і матеріали використовують як теплоприймачі;
- **комбіновані системи сонячного теплопостачання (КССТ).**

4.2 Системи активного сонячного теплопостачання

Основними компонентами активних систем є:

- сонячний нагрівач (сонячний колектор), який перетворює сонячну енергію в теплову;
- механізми для циркуляції теплоносія (передачі теплоти від нагрівача до акумулятора і від акумулятора до споживача або від нагрівача безпосередньо до споживача);
- акумулятор, який накопичує теплоту.

Сонячні колектори.

Основним елементом систем активного теплопостачання є **сонячний колектор** (рис. 1). Колектори були розроблені більше 200 років тому. Плоский колектор був виготовлений у 1767 році швейцарським вченим Горацієм де Соссюр.

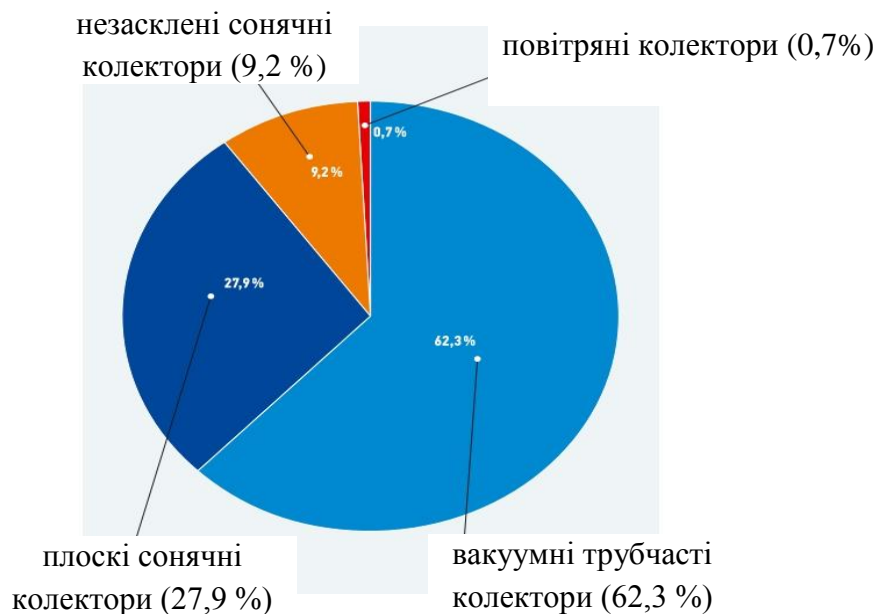


Рис. 1 Структура площин різних типів сонячних колекторів у світі.

В сучасних низькотемпературних системах теплопостачання (до 100 °C), використовують так званий *плоский колектор*, який являє собою теплоізований ящик, закритий прозорою герметичною кришкою (скління). В середині ящика роз-

міщується абсорбер - плоска променепоглиналина пластина, яка має щільний контакт з трубками або каналами для руху теплоносія. Більша частина сонячної радіації, що падає на СК, поглинається поверхнею, яка є «чорною» по відношенню до сонячного випромінювання. Частина поглиненої енергії передається рідині, що циркулює через СК, а решта втрачається в результаті теплообміну з навколишнім середовищем. Теплота, що забирається рідиною, представляє собою корисну теплоту, яка або акумулюється, або використовується для покриття опалювального чи іншого навантаження.

На рис. 2 наведена схема сонячного колектора. Верхня поверхня абсорбера пофарбована в чорний колір для кращого поглинання сонячного випромінювання.

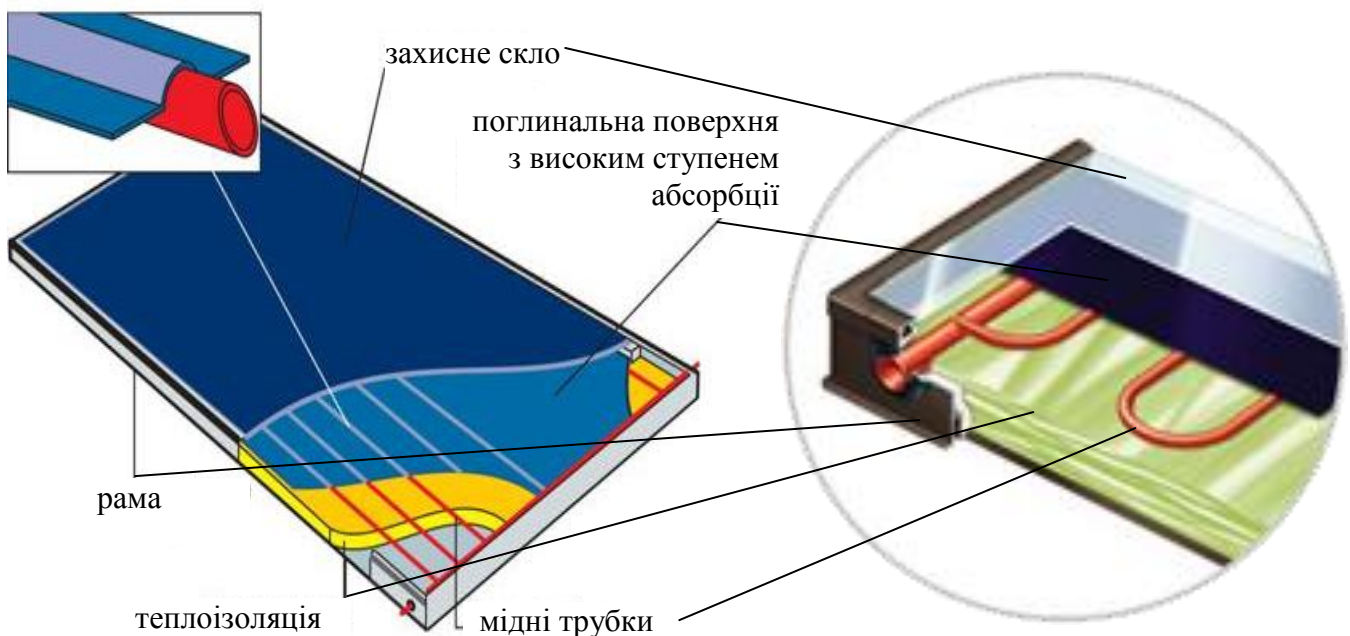


Рис. 2 Схема сонячного колектора.

Теплоносії.

В плоских СК в якості теплоносіїв використовується вода або антифриз, іноді повітря (переважно при об'єднанні геліоустановки з традиційною системою повітряного опалення).

Вода як теплоносіє має гарні теплофізичні властивості - високу теплоємність, великий коефіцієнт теплопровідності, достатню густину. До недоліків води відносяться її корозійна активність до більшості конструкційних матеріалів, особливо в присутності кисню, а також можливість замерзання системи при від'ємних температурах.

Повітря як теплоносіє не має недоліків води, проте його теплофізичні властивості значно поступаються воді. Крім того, рівень шуму вентиляторів у повітряних системах перевищує, як правило, рівень шуму водяних насосів в рідинних системах.

Поряд з водою в рідинних СК широко застосовуються 50% водні **розчини етиленгліколю та пропіленгліколю**, які замерзають тільки при низьких температурах. Їх недоліком є невеликий строк роботи, що не перевищує 5 років. Етиленгліколь ще й токсичний.

Принциповою особливістю плоских колекторів є здатність уловлювати як пряму, так і розсіяну сонячну енергію (в хмарний день).

Конструктивне удосконалення плоских СК відбувається за двома напрямками:

- I. Використання селективних поверхонь.**
- II. Удосконалення конструкції абсорбера.**

Променепоглинальні поверхні СК повинні мати високий коефіцієнт поглинання α короткохвильового сонячного випромінювання з довжиною хвилі $\lambda < 2$ мкм, а також низьку випромінюючу здатність ε в інфрачервоній області ($\lambda > 2$ мкм). Для ідеальної променепоглинальної поверхні значення цих параметрів складають $\alpha = 1,0$ і $\varepsilon = 0$. Відношення (α/ε) – називається **ступенем селективності**. Для підвищення ступеня селективності в СК застосовують спеціальні селективні покриття. Такі покриття, як правило, являють собою тонкоплівкові фільтри на металевій основі. Селективне покриття прозоре для інфрачервоного випромінювання (пропускає і поглинає сонячне випромінювання), але є дзеркалом для теплового, в результаті теплова енергія «замикається» всередині поглинальної пластини.

Класифікація активних систем сонячного теплопостачання

Активні системи сонячного теплопостачання класифікуються за наступними ознаками:

- за призначенням: системи ГВП, опалення, комбіновані системи;
- за часом роботи протягом року: сезонні, цілорічні;
- за ступенем охоплення споживачів: індивідуальні, групові і централізовані;
- за числом контурів: одно-, дво- і багатоконтурні;
- по наявності і типу дублюючого джерела.

4.3 Системи сонячного гарячого водопостачання

Найпростіша установка сонячного ГВП являє собою плоский бак, заповнений водою і закритий склом. Влітку така установка забезпечує нагрівання на 1 м² площі 50-100 л води до температури 40...50 °С. Через горизонтальне розташування такі установки працюють задовільно тільки при великій висоті стояння Сонця. Крім того, вони мають високі втрати внаслідок масообміну між водою і склінням. Використовуються в основному для ГВП індивідуальних душових.

Системи ГВП можуть бути з природною (термосифонною) або примусовою циркуляцією.

Найбільш прості за будовою одноконтурні системи з природною циркуляцією. Бак акумулятор в них розташований над сонячним водонагрівачем, і вода циркулює в результаті природної конвекції, коли за рахунок енергії сонячної радіації, яка поглинається в сонячному водонагрівачі, збільшується температура води на виході з водонагрівача, створюючи, таким чином, градієнт густини. Такі системи легко можуть під'єднуватися до традиційних систем ГВП з місцевим підігрівом води. Недоліком системи є можливість замерзання води в колекторі в зимовий період при низьких температурах.

Для запобігання цього використовують двоконтурну схему з баком-акумулятором (рис. 3).

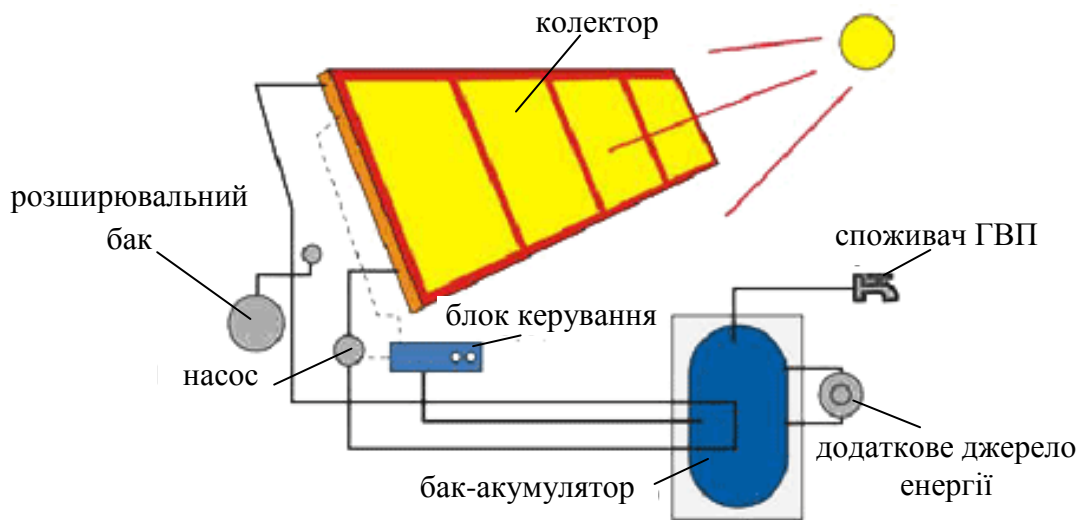


Рис. 3 Принципова схема двоконтурної сонячної установки для ГВП.

4.4 ККД сонячного колектора

Показником ефективності СК є його ККД, який розраховується за формулою:

$$\eta_K = \frac{Q_K}{E_K \cdot A},$$

де Q_K – теплопродуктивність СК, МВт; E_K – кількість сонячної енергії, яка надходить на 1 м² поверхні СК, МВт/м²; A – площа поверхні абсорбера, м².

Поверхня **брутто** (рис. 4) – поверхня, яка відповідає зовнішнім габаритам колектора (включаючи раму).

Поверхня **апертури** – поверхня попадання світла. Вона враховує вбудовані елементи, що знаходяться під скляною кришкою і затінюють абсорбер.

Поверхня **нетто (ефективна поверхня)** – активна поверхня абсорбера з вибіркоким покриттям, яка не затінюється при вертикальному попаданні променів.

У випадку плоских колекторів, поверхня **нетто**, яких нічим не затінюється, і поверхня **апертури** практично співпадають.

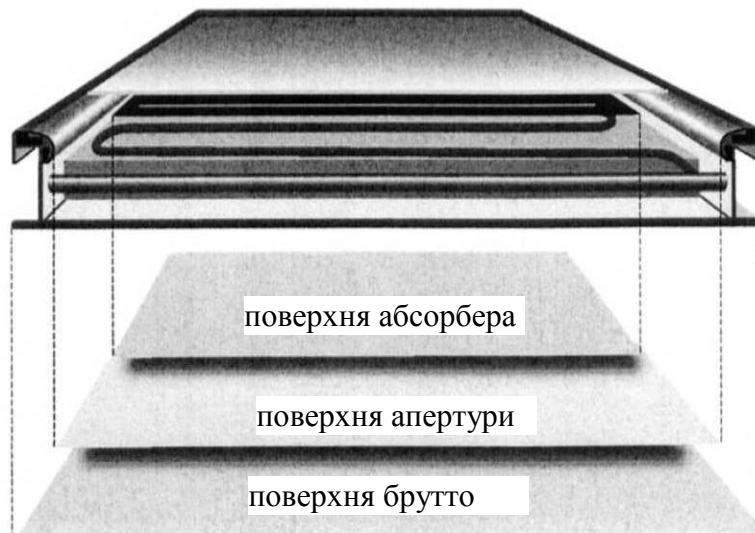


Рис. 4 Поверхні сонячного колектора.

В загальному випадку теплопродуктивність СК Q_K , МВт, може бути розрахована за залежністю:

$$Q_K = m_T \cdot c_p (t_{T2} - t_{T1}) \cdot 10^{-6},$$

де m_T – витрата теплоносія, кг/с; t_{T1} , t_{T2} – температури на вході і виході з абсорбера, $^{\circ}\text{C}$; c_p – теплоємність теплоносія, кДж/(кг К).

Отримана залежність може бути використана для оцінки значення ККД СК за визначений період часу (година, день, місяць, рік). Проте вона мало придатна для аналізу впливу ефективності кожного з елементів конструкції колектора (світлопрозорості скління, ступеня селективності абсорбера, товщини теплоізоляції корпусу) на величину ККД всієї сукупності елементів, які складають єдину систему – СК. Для такого аналізу необхідна формула для знаходження **миттєвого** значення ККД СК, яке можна визначити для будь-якого достатньо малого проміжку часу.

Кількість корисно використаної енергії, яка надходить у певний момент часу на 1 м^2 площі колектора, Вт/м²:

$$\Phi_K = \Phi \cdot \tau \cdot \alpha - K \cdot \Delta t,$$

де Φ - густина потоку сонячної енергії, що падає на 1 м^2 скління плоского СК в даний момент часу, МВт/м²;

τ - коефіцієнт пропускання сонячного випромінювання світлопрозорим пок-

риттям СК; α - коефіцієнт поглинання абсорбера;

$\Phi\tau$ - густина потоку енергії, який пройшов через світлопрозору ізоляцію і падає на абсорбер;

$\Phi\tau\alpha$ - густина потоку сприйнятого абсорбером.

Втрати теплоти Q_{HC} , Вт/м², від абсорбера в навколишнє середовище можна розрахувати за виразом:

$$Q_{HC} = K \cdot \Delta t,$$

де K – повний коефіцієнт тепловтрат СК, який враховує всі складові втрат, МВт/м²С;

$\Delta t = t_{T1} - t_{HC}$ – різниця температур;

t_{T1} – температура теплоносія на вході в абсорбер, °С;

t_{HC} – температура навколишнього середовища, °С.

Тоді відношення кількості корисно використаної енергії Φ_K до густини потоку, що падає на світлопрозоре покриття Φ , є ККД СК:

$$\eta_K = \frac{\Phi_K}{\Phi} = \frac{\Phi \cdot \tau \cdot \alpha - K \cdot \Delta t}{\Phi} = \tau \cdot \alpha - K \frac{\Delta t}{\Phi}.$$

Таким чином, ККД СК можна представити у вигляді наступного рівняння:

$$\eta_K = \eta_0 - K \frac{\Delta t}{\Phi},$$

де $\eta_0 = \tau\alpha$ – оптичний ККД сонячного колектора.

Оптичний ККД η_0 визначається добутком коефіцієнта пропускання сонячного випромінювання прозорої ізоляції τ (для 1–3 - шарового скління $\tau = 0,6 - 0,95$) і коефіцієнта поглинання абсорбера α ($\alpha = 0,85 - 0,98$). Він не залежить від E_K , різниці температур Δt , колектора t_{T1} та навколишнього середовища t_{HC} і для даної конструкції СК може бути прийнятим сталою величиною.

Великий вплив на значення ККД має температура теплоносія на вході в колектор: чим нижче температура, тим менші теплові втрати і вище ККД. При збільшенні витрати теплоносія ККД зростає до певної межі, а потім залишається постійним, тобто існує оптимальний діапазон значень витрати теплоносія. ККД сильно

збільшується при застосуванні абсорбера з селективним покриттям. При одношаровому склінні зміна ступеня селективності абсорбера α/ε з 1 до 12 веде до збільшення ККД з 45 до 60 %.

На практиці для визначення η_K часто використовують залежність:

$$\eta_K = \frac{Q_K}{E_K \cdot A} = F_R (\tau\alpha)_n - F_R \cdot U_L \frac{(t_{T1} - t_{HC})}{E_K},$$

де F_R - коефіцієнт відведення теплоти від СК;

$(\tau\alpha)_n$ - оптичний ККД сонячного колектора, визначається з дослідів при надходженні сонячної радіації по нормалі до поверхні колектора;

U_L - повний коефіцієнт теплових втрат колектора, Вт/(м²·°C).

На рис. 5 наведені графіки, побудовані за експериментальними залежностями, які дозволяють скласти границі оптимальної ефективності і застосування СК різних типів.

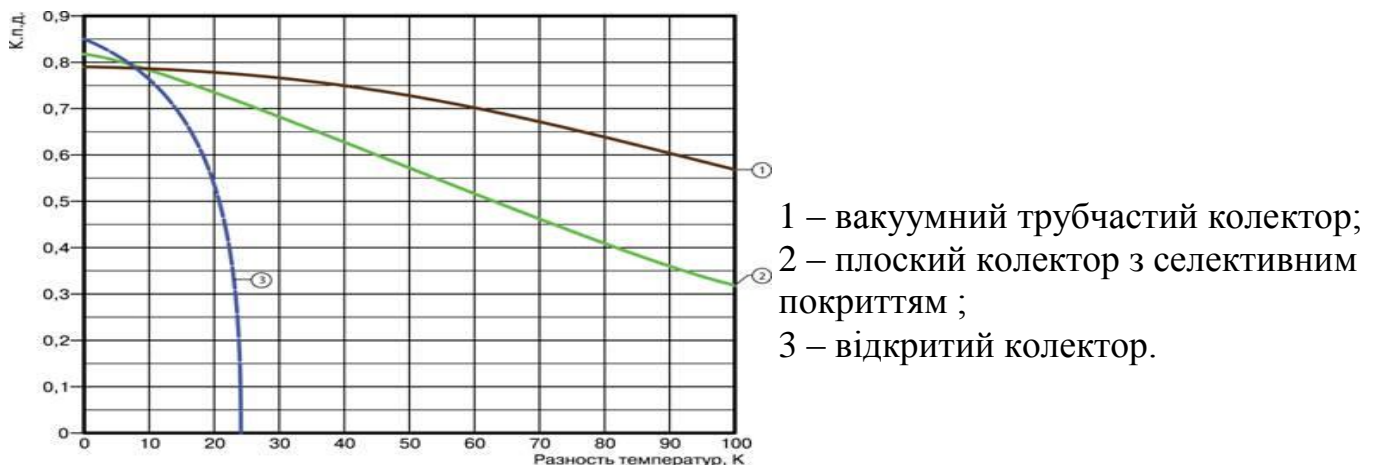


Рис. 5 Залежність ККД сонячних колекторів від різниці температур між колектором і повітрям.

4.5 Ступінь заміщення палива

Сонячні установки опалення і ГВП будівель входять до складу комбінованих геліопаливних систем теплопостачання і забезпечують часткове покриття річного теплового навантаження.

Геліопаливна система теплопостачання включає в себе наступне основне обладнання: СК, акумулятор теплоти, теплообмінники, насоси або вентилятори, додаткове (резервне) джерело теплоти (паливне або електричне) і пристрої для управління роботою системи.

Внаслідок нестабільності надходження сонячної енергії системи сонячного опалення повинні працювати з дублером – резервним джерелом теплоти (котельня, тепломережа і т.п.). Як правило, потужність резервного (додаткового) джерела теплоти вибирається такою, щоб можна було покрити все розрахункове теплове навантаження, оскільки в зимові місяці геліоустановка має низьку продуктивність.

Сонячні установки сезонної дії можуть бути запроектовані без дублера, якщо не висуваються жорсткі вимоги щодо безперебійного постачання гарячої води, наприклад в літніх душових.

Геліосистеми рекомендується використовувати в основному в південних районах України для сезонних споживачів, при високій вартості палива, при середньорічній кількості сонячної радіації не менше 1000 кВт·год/м², що відповідає приблизно енергоемності 100 л дизельного палива або 100 м³ природного газу [6], при підвищених вимогах до чистоти оточуючого середовища, наприклад в курортних зонах.

При проектуванні систем теплопостачання з використанням сонячної енергії необхідно виходити з того, що економічно доцільно покривати за рахунок сонячної енергії лише певну частку річного теплового навантаження Q_H^{PIK} :

$$Q_C^{PIK} = f^{PIK} \cdot Q_H^{PIK},$$

де f^{PIK} - частка сонячної енергії в покритті теплового навантаження,

а решта повинна забезпечуватися резервним (додатковим) джерелом енергії:

$$Q_D^{PIK} = (1 - f^{PIK}) \cdot Q_H^{PIK}.$$

Річне теплове навантаження на ГВП, ГДж/рік, визначається з рівняння:

$$Q_H^{PIK} = V_{ГВ} \cdot \rho \cdot c_p (t_{ГВ} - t_{ХВ}) \cdot p \cdot N_{РОБ} \cdot 10^{-6},$$

де $V_{ГВ}$ – об'єм води, яку споживає один мешканець за добу, м³/доба;

ρ – густина води, кг/м^3 ;

$t_{\text{ГВ}}, t_{\text{ХВ}}$ – температура гарячої і холодної води, $^{\circ}\text{C}$;

p – кількість мешканців будівлі;

$N_{\text{РОБ}}$ – кількість днів, які працює установка за рік, доба/рік.

Величина $f^{\text{РІК}}$ залежить від характеристик геліосистеми і кліматичних даних, а також від вартості системи і палива, але зазвичай вона не перевищує 0,5, а для сезонних установок може досягати 0,75 і більше (за сезон).

Місячна частка сонячної енергії [4, 7] в покритті теплового навантаження теплопостачання або ступінь заміщення палива визначається як:

$$f^{\text{М}} = \frac{Q_{\text{С}}^{\text{М}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{М}}} = \frac{(Q_{\text{Н}}^{\text{М}} - Q_{\text{Д}}^{\text{М}})}{Q_{\text{Н}}^{\text{М}}} = 1 - \frac{Q_{\text{Д}}^{\text{М}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{М}}},$$

де $Q_{\text{Н}}^{\text{М}}$ – місячна величина теплового навантаження;

$Q_{\text{С}}^{\text{М}}$ і $Q_{\text{Д}}^{\text{М}}$ – місячні кількості теплоти, які забезпечуються сонячною установкою і додатковим джерелом енергії.

Річна частка сонячної енергії (ступінь заміщення палива) в покритті навантаження:

$$f^{\text{РІК}} = \frac{Q_{\text{С}}^{\text{РІК}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{РІК}}} = \frac{\sum_1^{12} Q_{\text{С}}^{\text{М}}}{\sum_1^{12} Q_{\text{Н}}^{\text{М}}} = \frac{\sum_1^{12} f^{\text{М}} \cdot Q_{\text{Н}}^{\text{М}}}{\sum_1^{12} Q_{\text{Н}}^{\text{М}}}.$$

Річна економія палива, кг :

$$B^{\text{РІК}} = \frac{Q_{\text{С}}^{\text{РІК}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{Р}} \cdot \eta_{\text{ТГ}}} = \frac{f^{\text{РІК}} \cdot Q_{\text{Н}}^{\text{РІК}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{Р}} \cdot \eta_{\text{ТГ}}} = \frac{\sum_1^{12} f^{\text{М}} \cdot Q_{\text{Н}}^{\text{М}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{Р}} \cdot \eta_{\text{ТГ}}},$$

Економія палива (кг) за розрахунковий період (сезон):

$$B^{\text{СЕЗ}} = \frac{Q_{\text{С}}^{\text{СЕЗ}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{Р}} \cdot \eta_{\text{ТГ}}} = \frac{f^{\text{СЕЗ}} \cdot Q_{\text{Н}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{Р}} \cdot \eta_{\text{ТГ}}} = \frac{\sum_1^n f^{\text{М}} \cdot Q_{\text{Н}}^{\text{М}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{Р}} \cdot \eta_{\text{ТГ}}},$$

де $Q_{\text{Н}}^{\text{Р}}$ – нижча теплота згорання палива, ГДж/кг ;

Q_c – кількість теплоти (ГДж), яку забезпечує сонячна установка за розрахунковий період;

Q_H – теплове навантаження на ГВП за розрахунковий період;

f^{CE3} - ступінь заміщення за розрахунковий період;

n – кількість місяців роботи колектора за сезон;

η_{TG} – ККД теплогенератора, рівний 0,45-0,6 для індивідуальних установок і 0,6-0,8 для котлів на твердому, рідкому і газоподібному паливі.

Необхідно відзначити, що поряд з економією палива при використанні сонячної енергії важливе значення мають також такі аспекти, як зменшення забруднення оточуючого середовища, збереження паливних ресурсів, покращення соціальних умов.

Сьогодні багато фірм-виробників пропонують колектори, забезпечені номограмами. Вони дозволяють споживачу приблизно розрахувати площу необхідного колектора та об'єм бака-акумулятора з урахуванням складу його сім'ї і кількості споживаної води (рис.6).

4.6 Розрахунок систем сонячного теплопостачання

Для попереднього розрахунку СТС з використанням сонячної енергії можна рекомендувати графічний метод залежності ступеня заміщення (частки сонячної енергії в покритті теплового навантаження) f від безрозмірного параметра [2]:

$$\theta = \frac{E_K \cdot A}{Q_H}.$$

Залежності f від θ наведені на рис. 7. При побудові залежностей прийняті наступні припущення:

- в якості базового варіанту прийнятий плоский СК з двошаровим склінням $\eta_0=0,73$ і $K=4,6$ Вт/м²К, а $K/\eta_0=6,3$ Вт/м²К з оптимальним кутом нахилу СК β до горизонту і південною орієнтацією;

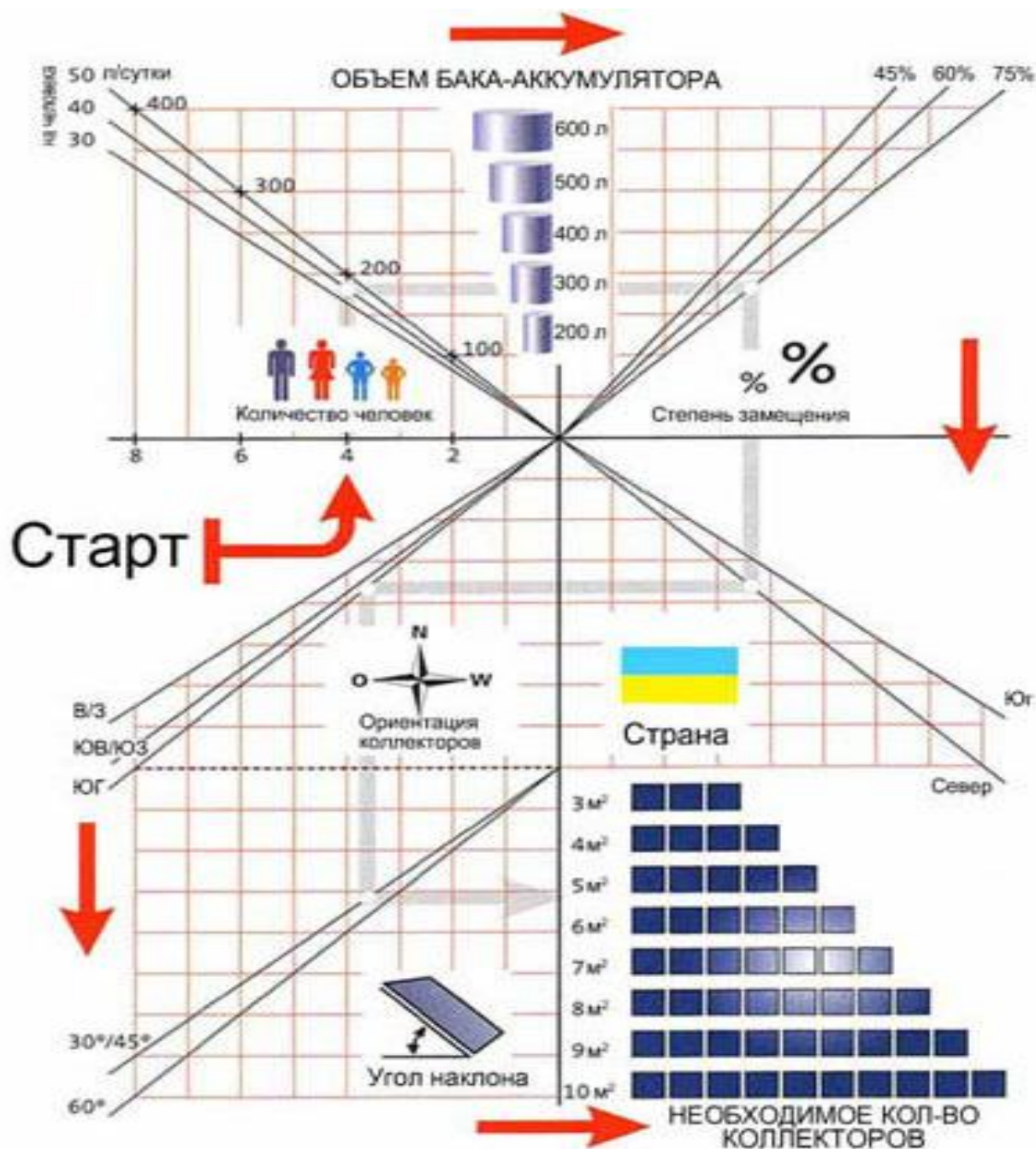


Рис. 6 Номограма фірми Sintsolar [5] для визначення площі СК та об'єму бака-аккумулятора.

- питомий об'єм водяного акумулятора теплоти дорівнює $0,07 \text{ м}^3/\text{м}^2$. При використанні СК з іншим співвідношенням K/η_0 , необхідно вносити відповідні поправки.

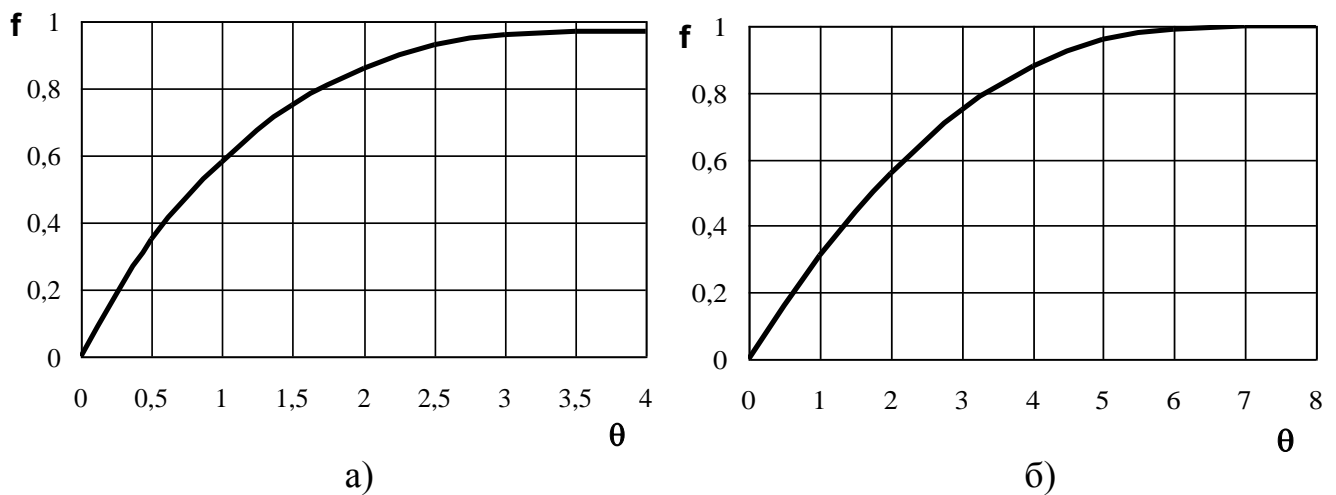


Рис.7 Залежності f від θ ,

а) ГВП; б) опалення.

Рекомендується приймати наступні орієнтовні значення коефіцієнта перерахунку кількості сонячної енергії з горизонтальної площини E (таблиця Д2) на поверхню СК з оптимальним кутом нахилу β до горизонту E_K :

$$E_K = E \cdot R,$$

де $R=1,4$ - для геліосистем опалення $\beta=(\varphi +15)$;

$R=1,05$ - для сезонних систем гарячого водопостачання $\beta=(\varphi -15)$;

$R=1,1$ - цілорічної дії $\beta=\varphi$;

φ – широта місцевості.

За допомогою цих залежностей можна визначити річне значення $f_{\text{РІК}}$ при заданій площі A поверхні СК, або навпаки – площу поверхні СК A , що забезпечує задане значення $f_{\text{РІК}}$.

Послідовність розв'язку першої задачі: при заданій площі A поверхні СК для розрахункового періоду (рік, сезон, місяць) визначаються значення Q_H і E_K , розраховується параметр θ і графічно знаходиться f . Потім обчислюються річні (місячні) кількості енергії, які покриваються сонячною установкою і додатковим джерелом енергії:

$$Q_C = f \cdot Q_H;$$

$$Q_D = (1-f)Q_H.$$

Обернена задача – визначення площі **A** поверхні СК. Для розрахункового періоду (рік, сезон, місяць) визначаються значення **Q_н** і **E_к**. За заданою часткою **f** графічно знаходиться **θ** і визначається **A** з рівняння:

$$A = \frac{\theta \cdot Q_n}{E_k}.$$

При цьому треба враховувати, що обчислення проводять для розрахункового періоду: для ГВП цілорічного або сезонної дії (1 рік або сезон), а для систем сонячного опалення – кожний місяць опалювального періоду.

4.7 Розрахунок економічної доцільності використання систем сонячного гарячого водопостачання

Сонячні колектори нагрівають воду практично безкоштовно за рахунок надходження сонячної енергії та мають низькі експлуатаційні витрати, у порівнянні з нагріванням води традиційним паливом чи електричною енергією (рис.8).

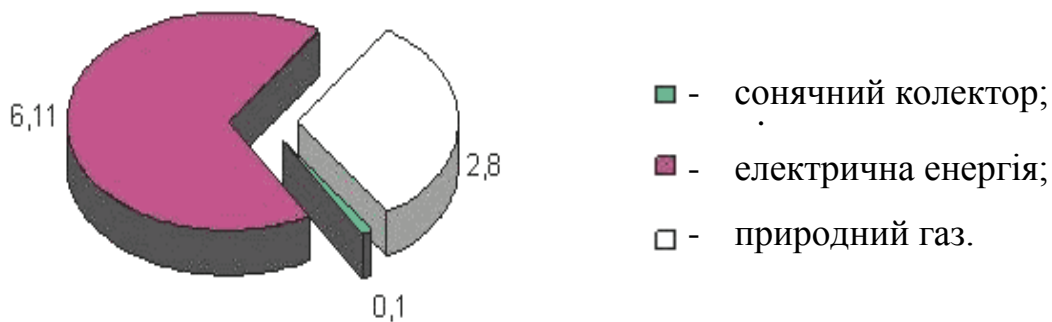


Рис.8 Порівняльна вартість нагрівання 1 м³ води при використанні різних джерел енергії.

Економічну доцільність використання геліосистеми визначають при порівнянні базового варіанту гарячого водопостачання з використанням традиційних видів енергії і запропонованого на базі сонячного колектора.

При цьому розраховують:

1. Вартість сонячної установки з додатковим джерелом енергії:

$$\Gamma_{\text{ГС}} = \Gamma_{\text{СК}} + \Gamma_{\text{БА}} + \Gamma_{\text{ДО}} + \Gamma_{\text{Д}} + \Gamma_{\text{РОБ}},$$

де $\Gamma_{\text{СК}}$ - вартість сонячного колектора;

$\Gamma_{\text{БА}}$ - вартість бака - акумулятора;

$\Gamma_{\text{ДО}}$ - вартість додаткового обладнання для геліосистеми;

$\Gamma_{\text{Д}}$ - вартість додаткового джерела теплоти;

$\Gamma_{\text{РОБ}}$ - вартість роботи з монтажу і встановлення (20-30% від вартості основного обладнання).

2. Добова витрата енергії для нагрівання води у баку - акумуляторі в залежності від виду додаткового джерела:

- електроенергії при електричному нагрівачі, кВт·год:

$$W_{\text{ЕЛ}} = \frac{V_{\text{БА}} \cdot \rho \cdot c_p (t_{\text{ГВ}} - t_{\text{ХВ}})}{3600},$$

$V_{\text{БА}}$ - об'єм обраного бака - акумулятора,

- теплової енергії від централізованого тепlopостачання чи за рахунок використання котла на традиційному паливі, ГДж:

$$W_{\text{ТЕП}} = V_{\text{БА}} \cdot \rho \cdot c_p (t_{\text{ГВ}} - t_{\text{ХВ}}) \cdot 10^{-6}.$$

3. Зекономлена сума оплати за енергоносії при використанні геліосистеми, грн.:

- за електроенергію:

$$\Gamma = W_{\text{ЕЛ}} \cdot C_{\text{ЕЛ}} \cdot N_{\text{РОБ}},$$

де $C_{\text{ЕЛ}}$ - діючий тариф на електроенергію, грн./кВт·год;

- за теплову енергію:

$$\Gamma = W_{\text{ТЕП}} \cdot C_{\text{ТЕП}} \cdot N_{\text{РОБ}},$$

де $C_{\text{ТЕП}}$ - діючий тариф на теплоту, грн./ГДж.

При спалюванні традиційного палива у додатковому джерелі вартість 1 ГДж теплоти визначають з рівняння:

$$C_{\text{ТЕП}} = \frac{\Gamma_{\text{ПАЛ}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{Р}} \cdot \eta_{\text{ТГ}}},$$

де $\Gamma_{\text{ПАЛ}}$ - вартість одиниці палива, грн./кг.

4. Приблизний простий строк окупності геліосистеми складатиме:

$$\tau_{\text{ОК}} = \frac{\Gamma_{\text{ГС}}}{\Gamma - \Gamma_{\text{ВИТ}}},$$

де $\Gamma_{\text{ВИТ}}$ - різниця річних грошових витрат (заробітна плата, витрати на електроенергію на роботу насосів і автоматики, обслуговування, нормативні відрахування та ін.) геліосистеми та базового варіанта, грн.

Термін окупності сонячної установки повинен бути менше терміну служби сонячного колектора (25 років). У разі зміни (підвищення) тарифів на електроенергію або теплоту протягом терміну служби колектора строк окупності відповідно зменшиться.

5 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ

I Визначення площі сонячного колектора для системи гарячого водопостачання будівлі.

1. Теплове навантаження (річне, сезонне), ГДж/рік (ГДж/сезон):

$$Q_{\text{Н}} = V_{\text{ГВ}} \cdot \rho \cdot c_{\text{Р}} (t_{\text{ГВ}} - t_{\text{ХВ}}) \cdot \rho \cdot N_{\text{РОБ}} \cdot 10^{-6},$$

$N_{\text{РОБ}}$ – кількість днів, в які працює установка протягом року (сезону), доба/рік (доба/сезон).

2. За таблицею Д2 знаходимо річне (сезонне) надходження сонячної енергії на горизонтальну поверхню. Для цього виписуємо значення середньомісячної денної сумарної сонячної енергії E по місяцях і домножаємо їх на кількість днів в місяці та заносимо до таблиці 1. Отримані значення підсумовуємо.

3. Визначаємо річний потік сумарної сонячної енергії на площину СК встановленого під оптимальним кутом β з урахуванням коефіцієнту перерахунку сонячної радіації з горизонтальної поверхні на похилу поверхню, ГДж/м².

$$E_{\text{К}} = E \cdot R,$$

де $R=1,05$ - для сезонних систем гарячого водопостачання $\beta = (\varphi - 15)$;

$R=1,1$ - цілорічної дії гарячого водопостачання $\beta = \varphi$;

φ – широта місцевості.

Таблиця 1

Надходження сонячної радіації

Назва місяця	Число робочих днів в місяці	Середньомісячна денна сумарна сонячна енергія	Середня місячна сумарна сонячна енергія
		МДж/(м ² день)	МДж/м ²
Січень	31		
Лютий	28		
Березень	31		
Квітень	30		
Травень	31		
Червень	30		
Липень	31		
Серпень	31		
Вересень	30		
Жовтень	31		
Листопад	30		
Грудень	31		
Всього		МДж/м ²	
		ГДж/м ²	

4. Знаходимо значення безрозмірного параметра θ при заданому f за рис.7а.

5. Розраховуємо площу A поверхні СК:

$$A = \frac{\theta \cdot Q_H}{E_K}.$$

6. Розрахунковий об'єм V_{AA} водяного бака - акумулятора теплоти знаходимо з залежності, м³:

$$V_{BA} = 0,07 \cdot A.$$

7. Обчислюємо річну (сезонну) економію палива, кг:

$$B = \frac{f \cdot Q_H}{Q_H^P \cdot \eta_{TG}}.$$

8. Визначення площі поверхні СК та об'єму бака - акумулятора за номограмою фірми Sintsolar (рис. 6) при заданих параметрах.

II Розрахунок строку окупності геліосистеми з баком - акумулятором та дублюючим джерелом теплоти.

В базовому варіанті гаряче водопостачання будинку забезпечується за допомогою електричного об'ємного водонагрівача (електричний бойлер). Пропонується встановити для гарячого водопостачання геліосистему з дублюючим електричним нагрівачем (ТЕН) у баку-акумуляторі.

1. Визначення вартості установки.

За відомими значеннями поверхні сонячного колектора **A** та об'ємом баку - акумулятора **V_{БА}** обираємо в Інтернеті фірму виробника обладнання геліосистем та визначаємо кількість СК. Вартість основних комплектуючих заносимо до таблиці 2 і визначаємо вартість геліосистеми:

$$\Gamma_{\text{ГС}} = \Gamma_{\text{СК}} + \Gamma_{\text{БА}} + \Gamma_{\text{ДО}} + \Gamma_{\text{РОБ}}.$$

Таблиця 2

Найменування	Позначення	Ціна, грн	Кількість, шт.	Сума, грн
Колектор*	$\Gamma_{\text{СК}}$			
Бак – акумулятор**	$\Gamma_{\text{БА}}$			
Додаткове обладнання для геліосистеми	$\Gamma_{\text{ДО}}$			
Роботи з монтажу і встановлення	$\Gamma_{\text{РОБ}}$			
Вартість геліосистеми	$\Gamma_{\text{ГС}}$	—		

*Зазначається фірма виробник, назва колектора, його маркування і площа.

**Зазначається фірма виробник, маркування і об'єм.

При обраній схемі геліосистеми вартість бака - акумулятора враховує ціну вмонтованого додаткового джерела теплоти.

2. Визначення терміну окупності.

Розрахуємо добову витрату електроенергії для нагрівання води у баку – акумуляторі, кВт·год:

$$W_{\text{ЕЛ}} = \frac{V_{\text{БА}} \cdot \rho \cdot c_p (t_{\text{ГВ}} - t_{\text{ХВ}})}{3600}.$$

Річна (сезонна) зекономлена сума оплати за електроенергію при використанні геліосистеми, грн.:

$$\Gamma = W_{\text{ЕЛ}} \cdot C_{\text{ЕЛ}} \cdot N_{\text{РОБ}}.$$

При визначенні строку окупності треба врахувати, що в базовому варіанті ГВП забезпечує електричний бойлер, тому від вартості сонячної геліосистеми віднімають вартість бака - акумулятора. А річні грошові витрати на обслуговування, відрахування та ін. геліосистеми та базового варіанта приблизно однакові.

Приблизний простий строк окупності геліоустановки:

$$\tau_{\text{ОК}} = \frac{\Gamma_{\text{ГС}} - \Gamma_{\text{БА}}}{\Gamma}.$$

Список рекомендованої літератури

1. Н.М. Мхитарян. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. – К.: Наукова думка, 1999. – 319с.
2. Н.М. Мхитарян. Гелиоэнергетика. К.: Наукова думка, 2002.- 350 с. – К., 2014.- 28с.
3. У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи. Расчет систем солнечного теплоснабжения. – М.: Энергоиздат, 1982. – 80 с.
4. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
5. [www. Sintsolar. com. ua](http://www.Sintsolar.com.ua).
6. Амерханов Р.А., Бессараб А.С., Драганов Б.Х., Рудобашта С.П., Шишко Г.Г. Теплоэнергетические установки и системы сельского хозяйства / под ред. Б.Х. Драганова. - М.: Колос-Пресс, 2002. - 424 с.
7. В.В. Дубровська, В.І. Шкляр, Є.О. Северин. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Випробування сонячного колектора» – К, «Політехніка», 2014. – 28 с.

ДОДАТКИ

Таблиця Д1

Вихідні данні до домашньої контрольної роботи

Варіант	Місто	$V_{ГВ},$	p	$t_{ГВ}$	$t_{ХВ}$	$Q_{н}^p$	$\eta_{ТГ}$	f
		л/день	людей	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	МДж/кг		
1	Вінниця	50	5	50	10	18,70	0,6	0,5
2	Дніпропетровськ	75	4	49	14	36,34	0,65	0,6
3	Донецьк	60	6	48	13	37,05	0,7	0,65
4	Житомир	50	5	47	15	20,03	0,75	0,7
5	Запоріжжя	50	8	46	14	36,27	0,8	0,75
6	Івано-Франківськ	75	7	45	12	36,69	0,6	0,8
7	Київ	80	5	50	11	21,53	0,65	0,5
8	Кіровоград	50	4	49	14	31,08	0,7	0,6
9	Луганськ	75	5	48	13	37,72	0,75	0,65
10	Луцьк	65	8	47	15	18,03	0,8	0,7
11	Львів	50	7	46	15	35,84	0,6	0,75
12	Миколаїв	50	6	45	10	36,84	0,65	0,4
13	Одеса	100	8	50	11	18,52	0,7	0,6
14	Полтава	80	7	49	12	35,51	0,75	0,5
15	Рівне	50	5	48	14	37,39	0,8	0,6
16	Севастополь	100	8	47	13	16,81	0,6	0,65
17	Сімферополь	100	6	46	15	37,77	0,65	0,7
18	Суми	75	5	45	14	36,63	0,7	0,75
19	Тернопіль	60	4	50	10	19,97	0,75	0,4
20	Ужгород	50	6	49	11	37,76	0,8	0,45
21	Харків	75	8	48	12	37,43	0,6	0,5
22	Херсон	75	7	47	14	20,81	0,65	0,65
23	Хмельницький	55	5	46	13	36,74	0,7	0,6
24	Черкаси	80	4	45	15	37,04	0,75	0,7
25	Чернігів	75	6	50	14	18,71	0,8	0,75
26	Чернівці	50	8	49	9	37,50	0,6	0,5
27	Ялта	100	7	55	11	38,92	0,8	0,8

Таблиця Д2.

Населений пункт	Широта	Довгота	Середньомісячна денна сумарна сонячна енергія (МДж / (м ² · день). Середній показник за останні 22 роки (за даними NASA)												Середнє місячне значення
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Вінниця	49,23	28,49	3,85	6,80	10,58	14,11	18,68	19,08	18,58	16,85	11,56	7,09	3,96	3,24	11,20
Дніпропетровськ	48,43	35,13	4,36	7,16	10,73	14,58	19,98	20,05	20,52	18,29	13,18	8,17	4,32	3,46	12,06
Донецьк	47,95	37,82	4,50	7,34	10,55	14,80	20,05	20,59	20,99	18,65	13,75	8,46	4,54	3,56	12,31
Житомир	50,26	28,67	3,64	6,55	10,33	13,97	18,58	18,68	18,14	16,78	11,02	6,73	3,74	2,99	10,94
Запоріжжя	47,85	35,16	4,36	7,56	10,48	15,12	20,23	20,59	21,17	18,65	13,93	8,78	4,50	3,42	12,38
Івано-Франківськ	48,91	24,71	4,28	6,95	10,22	13,25	16,34	17,10	17,14	15,84	11,02	7,20	4,32	3,38	10,58
Київ	50,43	30,54	3,85	6,73	10,62	14,26	18,90	18,79	18,90	16,81	11,23	6,98	3,67	3,10	11,16
Кіровоград	48,51	32,25	4,32	7,02	10,66	14,65	19,69	19,76	20,05	17,71	12,85	8,06	4,10	3,46	11,88
Луганськ	48,57	39,35	4,43	7,42	10,98	14,58	19,66	20,05	20,34	17,96	13,03	8,03	4,54	3,35	12,02
Луцьк	50,76	25,35	3,67	6,37	10,19	14,08	18,18	18,29	17,78	16,38	10,84	6,59	3,78	2,84	10,76
Львів	49,84	24,01	3,92	6,70	10,26	13,86	17,42	18,00	17,75	16,24	11,09	6,88	3,92	3,06	10,76
Миколаїв	46,95	32,02	4,68	7,67	11,09	15,70	20,45	20,74	21,60	19,04	14,40	9,25	4,90	3,74	12,78
Одеса	46,47	30,73	4,50	7,56	11,05	15,77	20,34	21,06	21,71	19,22	14,15	9,07	4,90	3,74	12,74
Полтава	49,59	34,54	4,25	7,06	10,98	14,40	19,44	19,58	19,84	17,53	12,31	7,60	4,14	3,28	11,70

Продовження таблиці Д2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Рівне	50,61	26,25	3,64	6,52	10,19	13,93	18,29	18,61	17,93	16,49	10,87	6,73	3,74	2,92	10,84
Севастополь	44,61	33,54	4,36	7,34	11,56	17,42	22,64	25,38	26,14	22,54	16,52	10,4	5,51	3,64	14,47
Сімферополь	44,95	34,11	4,57	7,42	10,98	15,48	19,58	21,02	22,32	19,22	14,65	9,61	5,58	3,85	12,85
Суми	50,48	34,97	4,07	6,95	10,98	14,33	18,97	19,15	19,37	16,81	11,48	7,13	3,96	3,10	11,38
Тернопіль	49,56	25,60	3,92	6,70	10,26	13,86	17,42	18,00	17,75	16,24	11,09	6,88	3,92	3,06	10,76
Ужгород	48,62	22,29	3,92	6,70	10,26	13,86	17,42	18,00	17,75	16,24	11,09	6,88	3,92	3,06	10,76
Харків	49,99	36,25	4,28	7,27	10,98	14,11	19,37	19,66	20,02	17,57	12,56	7,56	4,28	3,24	11,74
Херсон	46,69	32,66	4,68	7,67	11,09	15,70	20,45	20,74	21,60	19,04	14,40	9,25	4,90	3,74	12,78
Хмельницький	49,39	26,80	5,72	8,60	12,02	15,73	19,84	21,92	22,18	19,87	15,19	9,79	5,94	4,50	13,43
Черкаси	49,57	23,91	3,89	6,59	10,15	13,61	16,81	17,39	17,39	16,02	10,80	6,66	3,82	2,99	10,51
Чернігів	51,49	31,30	3,56	6,48	10,51	14,26	18,61	18,68	18,43	16,34	10,80	6,70	3,53	2,70	10,87
Чернівці	48,29	25,94	4,28	6,95	10,22	13,25	16,34	17,10	17,14	15,84	11,02	7,20	4,32	3,38	10,58
Ялта	44,26	34,19	4,57	7,42	10,98	15,48	19,58	21,02	22,32	19,22	14,65	9,61	5,58	3,85	12,85